

# 电流和温度 额定值



## 介绍

此应用文件解释说明：

- 如何理解线艺电感的电流和温度额定值
- 我们的电流额定值测量方法和性能极限标准
- 基于电流额定值估算功率性能极限
- 如何根据温度额定值计算元件温度
- 如何估算在非25°C温度下的元件DCR
- 如何计算脉冲波形应用中的性能极限
- 详细的均方根计算 – 附录A
- 温升公式的推导 – 附录B
- 各种波形的换算因素 – 附录C

电气额定值是相互制约的。通过元件的电流取决于应用的电压（波形和占空比）和元件阻抗。元件的阻抗取决于直流电阻（DCR）、应用的信号频率（交流电阻）和元件温度。元件的温度取决于元件的热力（传热）特性、电路板、焊接、周围环境、元件的阻抗和通过元件的电流。元件的功率消耗是由所有这些变数决定的。

元件的最大工作额定值必须根据特定的测量方法和性能极限来规定。例如，可将性能极限定义为超出规定的温升或绝缘或铜线的完全击穿。不同的测量方法和性能极限标准会产生不同的结论。通过确立测量方法和性能极限标准来设立用于评估每个应用的基线。

最后，电路设计人员将确定每个元件的温度、电流、电压和功率最大工作极限。它们每个都针对特定的应用环境。

## 线艺电感的电流额定值

根据电感类型（片式电感、功率电感），我们可以规定 $I_{sat}$ 、 $I_{rms}$ 或 $I_{DC}$ 电流。

- 饱和电流（ $I_{sat}$ ），此电流使电感值在没有通DC电流的测量值基础上下降规定的量。电感值下降是由于铁芯饱和引起的。
- rms电流（ $I_{rms}$ ）是均方根电流，此电流使产品温度在25°C的环境温度基础上上升特定的量。温升是由于 $I^2R$ 损耗引起的。
- DC电流（ $I_{DC}$ ），如果没有针对预定的应用对元件进行测试，则不建议在高于此电流的条件下工作。

有些电感的 $I_{sat}$ 低于 $I_{rms}$ 。铁芯在元件温度达到性能极限之前就达到饱和。在这种情况下，我们可以只规定 $I_{sat}$ ，因为它是限制因素。很多电感的 $I_{sat}$ 高于 $I_{rms}$ 。这样的话，我们可以只规定 $I_{rms}$ 和高出环境温度的温升。很多情况下，我们同时规定 $I_{rms}$ 和 $I_{sat}$ 电流以说明哪个测量更为重要。一般当 $I_{rms}$ 大大超过 $I_{sat}$ 时才对 $I_{DC}$ 进行规定。

## 线艺测量方法和性能极限标准

### 均方根电流 – $I_{rms}$

在25°C的环境温度下，我们通过测量电流通过代表性样品电感所产生的温升来确定 $I_{rms}$ 。给电感加一个低DC偏流，让电感的温度稳定下来。重复此过程直到温升达到额定极限。在无散热的静止空气条件下对样品电感进行测量。一般而言，片式电感的极限是15°C温升，而功率电感是40°C温升。

因此，电流额定值是基于数据表中的 $I_{rms}$ 电流和温升。因电流引起的元件温升受环境温度的影响。在高于数据表中的环境温度条件下，要确定额定电流引起的元件温升，请看此应用文件的“环境温度范围”。

## 饱和电流 – Isat

在没有通DC电流的特定频率下，通过测量代表性样品的电感值来确定Isat。然后逐渐增加DC电流，并且测量电感值。

额定Isat电流使电感值在没有通DC电流的测量值基础上下降规定的量（百分比）。

## 功率极限计算

总功率或“视在”功率（ $P_A$ ）由平均（实）功率（ $P_{avg}$ ）和无功（虚）功率（ $P_{var}$ ）组成。虽然功率的纯无功部分不消耗能量，其在电路中来回传输会产生一些损耗，因为传输线不是完美的导线。

电流通过电感产生的热效应所引起的温升与电感消耗的平均功率有关。平均实际功率是由电感的有效串联电阻（ESR）和通过电感的rms电流决定的，如公式1所示。

$$P_{avg} = (I_{rms})^2 \times ESR \quad (1)$$

其中：

$P_{avg}$  = 平均实际功率，瓦特

$I_{rms}$  = rms电流，安培

ESR = 有效串联电阻，欧姆

公式1可用于估算由实际损耗引起的功率极限。实际损耗包括直流和交流损耗，并且用电感的ESR来表述。交流损耗受频率影响，因此，我们建议使用我们的模拟模型来确定ESR，以计算你们的特定应用频率下的实际功率消耗。

电感所需的视在（总）功率是由通过电感的rms电流、电感两端的rms电压以及电压和电流之间的相角差决定的。公式2可用于估算电感所需的视在功率。

$$P_A = I_{rms} \times V_{rms} \times \cos(\theta) \quad (2)$$

其中：

$P_A$  = 视在功率，瓦特

$I_{rms}$  = rms电流，安培

$V_{rms}$  = 电感两端的rms电压，伏特

$\theta$  = 相角，度

由于电感的交流性能受频率影响，而且 $V_{rms}$ 是视特定应用而定的，我们建议使用我们的模拟模型来为你们的特定应用电压和频率确定视在功率要求。

## 环境温度范围

环境温度用一个范围来表示，如“- 40°C ~ +85°C”。此范围是建议的工作环境（周围环境）温度范围。它表示的不是元件（电感）温度。元件温度如公式3所示：

$$T_c = T_a + T_r \times 0.00385 \times (234.5 + T_a) \quad (3)$$

其中：

$T_c$ 是元件温度

$T_a$ 是环境（周围环境）温度

$T_r$ 是额定电流通过元件引起的数据表中给出的温升

参考附录B中此公式的推导。

例如：一功率电感的环境温度范围规定为-40°C ~ +85°C，额定 $I_{rms}$ 电流在25°C环境温度下产生40°C的温升。

最坏的情况是，通过 $I_{rms}$ 电流时的元件温度为(85°C+ 49.2°C) = 134.2°C

## 直流电阻与温度的关系

公式4可用于计算元件在工作温度范围内的近似直流电阻：

$$DCR_{T2} = DCR_{25} \times ((1 + 0.00385 (T2 - 25)) \quad (4)$$

其中：

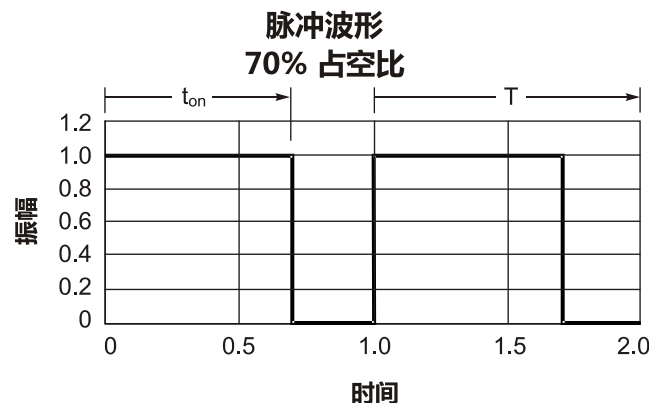
$DCR_{T2}$ 是在温度 $T2$ 时的直流电阻

$DCR_{25}$ 是数据表中给出的在25°C时的直流电阻

$T2$ 的单位是°C，直流电阻是在此温度下计算的

## 脉冲波形

理想的脉冲波形用周期（ $T = 1/\text{频率}$ ）、振幅、脉冲宽度（ $t_{on}$ ）和占空比来表述，如图1所示。理想的脉冲波形成矩形。实际的脉冲波形还有此文未论及的上升时间、下降时间、过冲、振铃、下垂或倾斜、抖动和稳定时间特性。我们还假设在一个给定的应用脉冲群中，所有脉冲都有相同的振幅。



占空比 (D) 是脉冲宽度 (持续时间) 与脉冲周期的比值, 如公式5所示。

$$D = t_{on} / T \quad (5)$$

其中:

D = 占空比

$t_{on}$  = 脉冲宽度, 秒, T = 周期, 秒

占空比通常用周期时间的百分比来表示。例如, 持续波的占空比是100%, 因为它们在周期都是“导通”的。方波的占空比是50%: 半个周期“导通”, 半个周期“断开”。占空比也可以用比率来表示。50%的占空比等同于0.50的占空比率。

要将等效持续 (100% D) 波形估算的功率转换为脉冲功率值, 再使所估算的一个周期能量值相等, 解方程则得出脉冲功率。此计算使用定义: 能量 = 功率 × 时间。

$$\text{能量} = P_{avg} \times T \quad (6)$$

对于一个周期的持续 (100%占空比) 波形, 调用公式1:

$$\text{能量} = (I_{rms})^2 \times ESR_c \times T$$

其中:

$ESR_c$  = 持续电流的有效串联电阻

$ESR$ 受频率的影响, 可以根据我们选择的电感模拟模型来获取。

对于一个周期的脉冲波形,

$$\text{能量} = P_{pulsed} \times t_{on} \quad (7)$$

$$\text{能量} = (I_{pulsed})^2 \times ESR_{pulsed} \times t_{on}$$

其中:

$P_{pulsed}$  = 等效脉冲功率

$t_{on}$  = 脉冲宽度, 秒

$ESR_{pulsed}$  = 脉冲电流的有效串联电阻

当一特定应用的脉冲宽度 ( $t_{on}$ ) 和脉冲电流振幅 ( $I_{pulsed}$ ) 确定时, 上面的运算需要知道 $ESR_{pulsed}$ 或假设它等于 $ESR_c$ 。针对此次讨论, 我们假设 $ESR$ 受频率影响, 但不受波形影响, 那么 $ESR_{pulsed} = ESR_c$ 。

在这个假设的条件下, 将公式6和公式7的能量项等同起来, 并且去除 $ESR$ 项:

$$(I_{rms})^2 \times T = (I_{pulsed})^2 \times t_{on} \quad (8)$$

$$(I_{rms})^2 / (I_{pulsed})^2 = t_{on} / T \quad (9)$$

由于D是 $t_{on} / T$ ,

$$(I_{rms})^2 / (I_{pulsed})^2 = D$$

解答得出等效脉冲电流,

$$I_{pulsed} = ((I_{rms})^2 / D)^{0.5} \quad (10)$$

例如: 一个片式电感在25°C环境温度和额定 $I_{rms}$ 为100 mA的条件下产生15°C的温升。用公式5来计算一特定应用的占空比为30%。

用公式10,

$$I_{pulsed} = ((0.1 \text{ A})^2 / 0.30)^{0.5}$$

$$I_{pulsed} = 0.183 \text{ A 或 } 183 \text{ mA}$$

此计算得出占空比为30%的183 mA电流脉冲同样在25°C环境温度下引起15°C的温升。

在之前的计算中假设, 尽管有脉冲振幅、宽度和持续时间因素, 如果用额定功率计算出来的能量在一个周期内供给元件, 元件将能安全地消耗此能量。此假设可能会受物理条件的限制, 因元件的散热特性、焊接、电路板和环境因素。

在前面的例子中, 如果占空比减少到10%, 计算出的脉冲电流就会是316 mA, 比额定rms电流大3倍, 尽管只是一个周期的1/10。我们的额定电流是基于稳态测量, 而不是脉冲电流波形。虽然占空比的假定在很多情况下都成立, 但我们没有验证脉冲波形的额定值。因此, 我们建议你们对你们的特定应用进行测试以确定计算假定是否成立。

## 附录A – 均方根计算

图2所示的是交流电（AC）的典型正弦波形，显示峰值和峰-峰值。横轴是以度为单位的相角。纵轴是振幅。注意，正弦波在一个完整的360°周期的平均值为零。

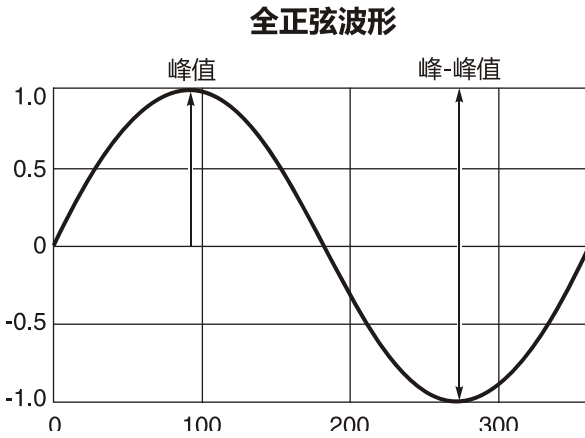


图2

图3显示的全正弦波形与图2相同，全波整流。显示整流平均值和均方根值以进行比较。

按照下面的计算顺序来计算均方根（rms）值：

## 整流正弦波形

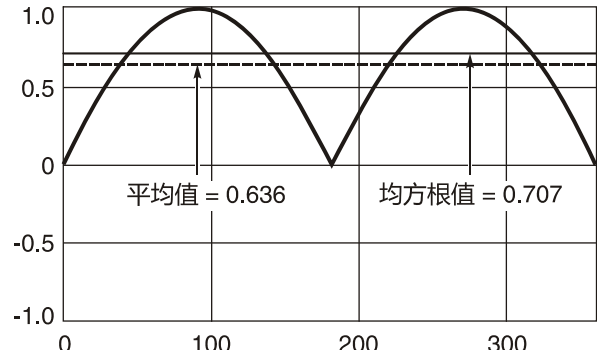


图3

把每个幅值进行平方得到正值，取平均数，然后再开方。

均方根值有时称为“有效”值，它与可比的直流值所产生的功率消耗（热）效应相同。任何均方根值均如此，包括方波、三角波和锯齿波形。

有些交流电流表读取的是整流平均值，有些读取的是“真实”均方根值。从附录 B 的转换公式可以看出，对于正弦波来说，均方根值比平均值约大 11%。

## 附录B – 温升公式的推导

我们的电流额定值一般是基于额定电流在25°C的环境温度下产生的特定温升 ( $T_r$ )。当元件在较高的环境温度条件下使用时, 环境温度 ( $T_a$ ) 和25°C之间的温度差越大, 元件铜线的电阻就越大。电阻增大是由铜线的电阻温度系数 ( $\alpha$ ) 决定的。铜线的  $\alpha \approx 0.00385$ 。当元件在较高的环境温度条件下满载额定电流时, 铜线电阻的增大会导致  $I^2R$  损耗增大。增大的损耗假定被转化为热, 产生的温升与增大的铜线电阻成比例。

接下来是公式推导, 确定在较高的环境温度 ( $T_a$ ) 下工作时的元件温度 ( $T_c$ )。我们从电阻温度系数的定义开始, 用25°C作为我们的参考温度。

$$\alpha = \frac{\Delta R}{R_{25}} / (T_a - 25) = \frac{R_a - R_{25}}{R_{25}} / (T_a - 25)$$

$$\frac{\Delta R}{R_{25}} = \alpha(T_a - 25)$$

$$\text{因电阻增大而引起的温升} = \frac{\Delta R}{R_{25}} \times T_r$$

$$T_c = T_a + T_r + \frac{\Delta R}{R_{25}} \times T_r$$

$$T_c = T_a + T_r \left(1 + \frac{\Delta R}{R_{25}}\right)$$

$$T_c = T_a + T_r (1 + \alpha(T_a - 25))$$

$$T_c = T_a + \alpha T_r \left(\frac{1}{\alpha} + (T_a - 25)\right)$$

对于  $\alpha = 0.00385$

$$T_c = T_a + 0.00385 \times T_r (234.5 + T_a)$$

定义:

$\Delta R$  = 因较高的环境温度  $T_a$  引起的电阻增量

$T_a$  = 环境温度 (假定  $> 25^\circ\text{C}$ )

$R_a$  = 环境温度 ( $T_a$ ) 下的铜线电阻

$R_{25}$  = 25°C 环境温度下的铜线电阻

$T_r$  = 额定电流所引起的数据表中规定的温升

$T_c$  = 额定电流在环境温度 ( $T_a$ ) 下产生的元件温度

## 附录C – 各种波形的换算因素

用下面的公式来换算电流或电压的各种波形的平均值、均方根值、峰值和峰-峰值。

### 正弦波形

#### 给定平均值:

$$\text{均方根值} = 1.112 \times \text{平均值}$$

$$\text{峰值} = 1.572 \times \text{平均值}$$

$$\text{峰-峰值} = 3.144 \times \text{平均值}$$

#### 给定峰值:

$$\text{平均值} = 0.636 \times \text{峰值}$$

$$\text{均方根值} = 1/\sqrt{2} \times \text{峰值} (\approx 0.707 \times \text{峰值})$$

$$\text{峰-峰值} = 2 \times \text{峰值}$$

#### 给定均方根值:

$$\text{平均值} = 0.899 \times \text{均方根值}$$

$$\text{峰值} = \sqrt{2} \times \text{均方根值} (\approx 1.414 \times \text{均方根值})$$

$$\text{峰-峰值} = 2 \times \sqrt{2} \times \text{均方根值} (\approx 2.828 \times \text{均方根值})$$

#### 给定峰-峰值:

$$\text{平均值} = 0.318 \times \text{峰-峰值}$$

$$\text{均方根值} = 1/(2 \times \sqrt{2}) \times \text{峰-峰值} (\approx 0.354 \times \text{峰-峰值})$$

$$\text{峰值} = 0.5 \times \text{峰-峰值}$$

### 方波波形

$$\text{平均值} = \text{均方根值} = \text{峰值}$$

$$\text{峰-峰值} = 2 \times \text{峰值}$$

### 三角波或锯齿波形

#### 给定平均值:

$$\text{均方根值} = 1.15 \times \text{平均值}$$

$$\text{峰值} = 2 \times \text{平均值}$$

$$\text{峰-峰值} = 4 \times \text{平均值}$$

#### 给定峰值:

$$\text{平均值} = 0.5 \times \text{峰值}$$

$$\text{均方根值} = 1/\sqrt{3} \times \text{峰值} (\approx 0.578 \times \text{峰值})$$

$$\text{峰-峰值} = 2 \times \text{峰值}$$

#### 给定均方根值:

$$\text{平均值} = 0.87 \times \text{均方根值}$$

$$\text{峰值} = \sqrt{3} \times \text{均方根值} (\approx 1.73 \times \text{均方根值})$$

$$\text{峰-峰值} = 2 \times \sqrt{3} \times \text{均方根值} (\approx 3.46 \times \text{均方根值})$$

#### 给定峰-峰值:

$$\text{平均值} = 0.25 \times \text{峰-峰值}$$

$$\text{均方根值} = 1/(2 \times \sqrt{3}) \times \text{峰-峰值} (\approx 0.289 \times \text{峰-峰值})$$

$$\text{峰值} = 0.5 \times \text{峰-峰值}$$